

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektrotechniky**

**Nabíječ akumulátorové lokomotivy**

Charger of accumulator locomotive

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Vojtěch Kalas**

Studijní program:

B2648 Projektování elektrických zařízení

Téma:

Nabíječ akumulátorové lokomotivy

Charger of accumulator locomotive

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rozbor možností nabíjení velkokapacitního akumulátoru posunovací lokomotivy a vyberte vhodné koncepční řešení.
2. Proveďte dimenzování celé soustavy nabíjecí stanice pro olověný akumulátor se jmenovitým napětím 750 V, a kapacitou 930 Ah
3. Navrhněte schémata hlavních a pomocných obvodů a zpracujte projekt nabíjecí stanice v rozsahu dle pokynů vedoucího práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

Veselovský, J., Kroupa, M.: Základy tvorby technické dokumentace v elektrotechnice, ALFA 1989.  
Martínek, Z.: Projektování elektroinstalací, skriptum ZČU, 1992.  
Vondrášek, F.: Výkonová elektronika, svazek III. Skriptum ZČU Plzeň 1998.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

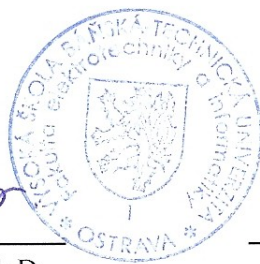
Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Petr Chlebiš, CSc.**

Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013



doc. Ing. Vítězslav Stýskala, Ph.D.  
*vedoucí katedry*



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
*děkan fakulty*

Prohlášení:

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě dne 7.5.2013



-----  
Vojtěch Kalas

## **Poděkování**

Touto formou bych rád poděkoval panu prof. Ing. Petru Chlebišovi, CSc a Ing. Tomáši Mlčákovi Ph.D. za pomoc, cenné rady a doporučení při řešení této bakalářské práce.

**Abstrakt:**

Tato bakalářská práce řeší návrh nabíjecí stanice pro tři nápravovou akumulátorovou lokomotivu. V teoretické části práce je rozbor nabíjecích charakteristik, zvolení vhodného typu charakteristiky, případně jejich kombinace. Dále se řeší popis pulzního usměrňovače, který bude využitý v nabíjecí stanici. V praktické části se zabývá technickou dokumentací stanice, která obsahuje elektrická schémata zapojení hlavních a ovládacích obvodů, seznam komponentů a technickou zprávu. Nedílnou součástí dokumentace je také protokol o vnějších vlivech a posouzení rizik. Cílem této práce je navrhnout elektrická schémata a vytvořit kompletní projektovou dokumentaci k nabíjecí stanici.

**Klíčová slova:** Nabíjecí stanice, Pulzní usměrňovač, Nabíjecí charakteristiky

**Abstract:**

This thesis deals with the charging station for cordless three axle locomotive. In the theoretical part of the thesis is the analysis of charging characteristics, select the appropriate type characteristics, or their combination. Furthermore, description of pulse rectifiers, which will be used in the charging station. In the practical part deals with the technical documentation station, which contains diagrams of main and control circuit, a list of components and technical report. An integral part of the documentation is a protocol for external factors and risk assessment. The aim of this work is to design electrical schematics and create a complete project documentation to the charging station.

**Key word:** Charging station, Pulse rectifier, charging characteristics

### Seznam použitých symbolů a zkratk:

°C	- stupeň celsia (jednotka teploty)
l/min	- jeden litr za minutu (jednotka průtoku)
A	- ampér (jednotka proudu)
Ah	- ampér hodina (jednotka kapacity baterie)
C	- uspořádání tří náprav spojených v jednom celku
C <sub>d</sub>	- filtrační kondenzátor
D <sub>1, 2, 3, 4, 5, 6</sub>	- diody
DCN	- záporná svorka
DCP	- kladná svorka
GND	- uzemnění
GNDA	- uzemnění analogového vstupu
h	- hodina (jednotka času)
Hz	- hertz (jednotka frekvence)
i	- okamžitá hodnota proud
I	- typ nabíjecí charakteristiky I
I <sub>Nčer</sub>	- jmenovitý proud čerpadla
I <sub>OUT</sub>	- výstupní proud
IP	- stupeň krytí
I <sub>stř</sub>	- proud ze střídavé strany
IUI	- kombinace nabíjecích charakteristik I, U a I
I <sub>ven</sub>	- proud ventilátoru
kW	- kilowaty (jednotka výkonu)
L <sub>1, 2, 3</sub>	- označení fází
L <sub>1, 2, 3</sub>	- vstupní indukčnost
N	- nulový vodič (modré barvy)
NC	- rozpínací kontakt
NO	- spínací kontakt
P	- činný výkon
PE	- ochranný vodič (zelenožluté barvy)
R <sub>1, 2, 3</sub>	- odpor vedení
S <sub>1, 2, 3, 4, 5, 6</sub>	- Spínací polovodičové prvky
SynIN, OUT	- synchronizační vstupy a výstupy
t	- čas
TN-S	- síť s rozděleným vodičem PEN na PE a N
u	- okamžitá hodnota napětí
U	- typ nabíjecí charakteristiky U
U <sub>1f, 2f, 3f</sub>	- fázové napětí
U <sub>d</sub>	- napětí na kondenzátoru
u <sub>Dov</sub>	- dovolený úbytek napětí
U <sub>z</sub>	- napětí na zátěži
u <sub>Δ</sub>	- úbytek napětí

V	- volt (jednotka napětí)
W	- typ nabíjecí charakteristiky W
X1-9	- svorkovnice
Z	- zátěž

## Obsah

1. Úvod.....	10
2. Popis akumulátorové lokomotivy.....	11
2.1 Popis trakčního akumulátoru.....	11
2.2 Popis stávající koncepce nabíječe .....	12
3. Rozbor požadavků nabíjení.....	14
3.1 Charakteristika typu I.....	14
3.2 Charakteristika typu U .....	15
3.3 Charakteristika typu W.....	16
3.4 Nabíjecí charakteristika IUI .....	17
3.5 Aplikace charakteristiky na podmínky nabíječe .....	18
4. Pulzní usměrňovač pro realizaci nabíječe .....	19
4.1 Popis funkce pulzního usměrňovače .....	19
4.2 Technické parametry měniče .....	20
4.3 Popis konstrukčního provedení .....	21
4.4 Popis svorkovnice měniče .....	21
5. Dimenzování nabíječe.....	24
5.1 Pulzní usměrňovač .....	24
5.1.1 Volba jištění usměrňovače ze stejnosměrné strany .....	24
5.1.2 Výpočet úbytku napětí ze stejnosměrné strany .....	24
5.1.3 Volba jištění usměrňovače ze střídavé strany .....	24
5.1.4 Výpočet úbytku napětí ze střídavé strany.....	25
5.2 Ventilátory, čerpadlo, dmýhadla, klimatizace .....	25
5.2.1 Ventilátory.....	25
5.2.2 Čerpadlo .....	25
5.2.3 Dmýhadla .....	25



5.2.4	Klimatizační jednotka .....	26
5.3	Elektrický rozvaděč.....	26
5.4	Elektrická přípojka .....	27
5.2.1	Výpočet dovoleného úbytku napětí na vedení.....	27
5.2.2	Výpočet úbytku napětí na vedení přípojky.....	27
6.	Závěr .....	28
7.	Použitá literatura .....	29
7.1	Literatura .....	29
7.2	Datové listy .....	29
7.3	Normy .....	29
8.	Seznam příloh.....	31
8.1	Tištěné přílohy .....	31
8.2	Netištěné přílohy umístěné na CD .....	31

## 1. Úvod

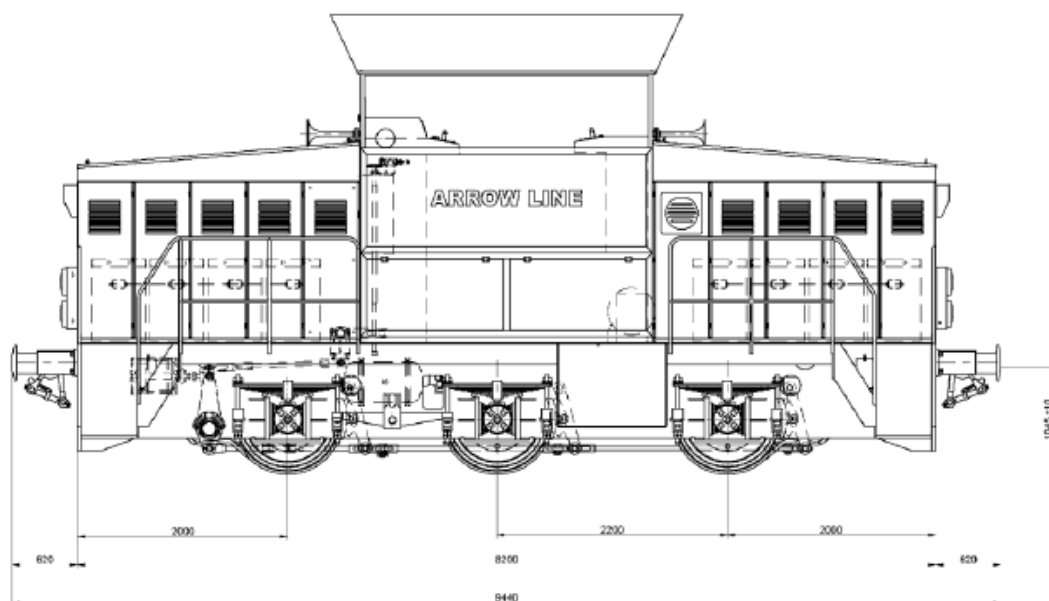
V současné době jsou standardním řešením nabíječů olověných akumulátorů polovodičové měniče s předřazenými transformátory. Nevýhody této koncepce nabíjecích stanic jsou jejich velké rozměry a váha, nepříznivé jsou i zpětné vlivy na napájecí síť. Se vstupem nových řízených polovodičových součástek na trh nabývají stanice menších rozměrů, snižují se nároky na filtraci rušivých jevů, které zbytečně prodražují zakázky nabíjecích stanic.

Kvalitativně nové řešení nabízejí tzv. pulzní usměrňovače, které jsou realizovány na bázi moderních vypínatelných součástek. Tyto měniče z principu potlačují negativní zpětné vlivy měničů s fázovým řízením čímž umožňují lepší využití instalovaného výkonu v místě připojení nabíječe. Protože uvedená koncepce nevyužívá síťový transformátor, dojde ke značnému snížení rozměrů i váhy nabíječe. Tento typ měničů odebírá ze sítě prakticky harmonický proud ve fázi s napětím.

Tato práce zpracovává projekt nabíječe velkokapacitního akumulátoru akumulátorové posunovací lokomotivy.

## 2. Popis akumulátorové lokomotivy

Jedná se o posunovací akumulátorovou lokomotivu 710.201-5 společnosti ARROW LINE. V předním a zadním představku jsou umístěny olověné akumulátory. Kabina je umístěna symetricky uprostřed vozidla. Hnací vozidlo má uspořádání náprav „C“. Třífázový asynchronní elektromotor s kotvou nakrátko o výkonu 175 kW je umístěn před hnací nápravou se kterou je spojen dvoustupňovou čelní převodovkou s přímými zuby. Maximální provozní rychlost je 20 km/h a tažná síla je 65 kN.



*Obr. 2.1 Lokomotiva 710.201-5 [12]*

### 2.1 Popis trakčního akumulátoru

V lokomotivě je použit trakční velkokapacitní akumulátor od společnosti Enersys s. r. o. a Hawker (Varta). Typové označení je 5PzS 775. Z typového označení, lze vyčíst parametry:

- 5 – jeden článek obsahuje 5 kladných elektrod
- PzS – konstrukce elektrod je trubkového tvaru
- 775 – kapacita akumulátoru je 775 Ah

Elektrolyt tvoří zředěná kyselina sírová o hustotě  $1,24 \text{ g/cm}^3$ . Akumulátor se skládá z 8 nosičů, které jsou symetricky rozděleny do dvou přístavků, jak je vidět v obrázku 2.1.. Jeden nosič obsahuje 35 článku. U akumulátorů do 3000 Ah jsou články uloženy v průhledných plastových nádobách. [3]

Nabíjení akumulátorů vychází z několika požadavků:

- Nabíjecí napětí musí být větší než maximální napětí
- Nabíjecí proud musí být 10% - 30% z číselné hodnoty jmenovité kapacity akumulátoru
- Nabíjení trakčních akumulátorů se doporučuje podle charakteristiky IUI.

Název parametru	Hodnota parametru	Jednotka
Počet základních nabíjecích cyklů	1500	
Počet článků	280	
Jmenovité napětí	560	V
Maximální napětí	672	V
Minimální napětí	510	V
Kapacita	775	Ah
Vrcholná hodnota při nabíjení	740 (800)	V
Hmotnost 1 nosiče (35 článků)	1500	kg

**Tab. 1.:** parametry akumulátoru [12]

## 2.2 Popis stávající koncepce nabíječe

Nabíjení v současnosti probíhá prostřednictvím nabíjecí stanice od společnosti Eprona a. s.. Nabíječ pro nabíjení využívá také charakteristiku IUI. Umístění je možné do venkovního prostředí, ale také i do vnitřního. Nabíječ dokáže hlídat teplotu, tlak v baterii a provzdušňuje elektrolyt.

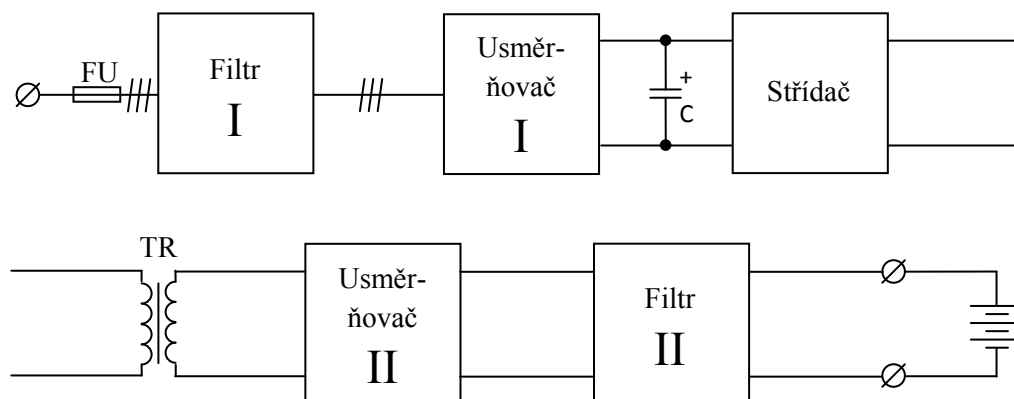
Název parametru	Hodnota parametru	Jednotka
Maximální napětí	740	V
Jmenovité napětí	690	V
Maximální proud	80	A
Udržovací proud	37	A
Síťové napětí	3x400	V
Frekvence sítě	50	Hz
Odběr ze sítě	90	A
Typ síťové vidlice	125	A
Jištění	125	A

**Tab. 2.:** parametry stávajícího nabíječe [12]

Z pohledu koncepce nabíječe je využita standardní bloková struktura spínaného zdroje. Na jeho vstupu je přes vstupní filtr zapojený vstupní diodový usměrňovač, který zajišťuje napájení mezilehlého stejnosměrného meziobvodu. Tento meziobvod, který slouží jako zdroj stejnosměrného napětí pro následující střídač, je tvořen kondenzátorovou baterií a je vybaven měřením pro hlídání základních provozních parametrů nabíječe (pokles a ztráta napájecího napětí, ochrana proti přepětí v meziobvodu apod.).

Základní část nabíječe tvoří středofrekvenční střídač, který napájí výstupní usměrňovač. Tento střídač je koncipován jako jednofázový střídačový můstek, jehož řízení přenášeného výkonu

se provádí šířkovou modulací pulzů. Výstupní napětí střídače napájí transformátor, na jehož výstupu je usměrňovač a výstupní filtr. Zvýšený spínací kmitočet střídače dovoluje zmenšit rozměry transformátoru, proto je celý nabíječ umístěn do skříně o rozměrech.



**Obr. 2.2** Blokové schéma dosud využívaného nabíječe

Nevýhodou dané koncepce je to, že využívá vstupní diodový usměrňovač. Tím lze docílit minimalizaci rozměrů i ceny nabíječe, avšak silně neharmonický proud, který nabíječ odebírá ze sítě a vyžaduje předimenzování jeho přípojky. Důkladnější filtrace na vstupu zase vede jak ke zhoršení účinnosti při odběru ze sítě, tak ke snížení napětí v mezilehlém obvodu a tím i k omezení přenášeného výkonu. Proto je výhodnější použít princip nabíječe, který bude ze sítě odebírat téměř sinusový proud v celém rozsahu výkonů. Tím je právě nabíječ využívající princip pulzního usměrňovače, kterým se zabývá tato práce.

### 3. Rozbor požadavků nabíjení

Rozbor požadavků nabíjení je nutné provést s ohledem na základní dimenzování samotného nabíječe i jeho okolních obvodů. Každá z dále uvedených charakteristik totiž vykazuje jiné požadavky s ohledem na proudové i výkonové dimenzování celého zařízení. Napět'ové dimenzování je určeno použitou napájecí soustavou na vstupní straně a použitým akumulátorem na výstupní straně nabíječe.

Nabíjením se rozumí proces dodání a obnovení elektrického náboje v akumulátoru. Parametrem, od kterého se odvozuje proces nabíjení, je kapacita akumulátoru. Od jmenovité kapacity akumulátoru se odvozují velikosti nabíjecích proudů, pro olovené akumulátory proudy o velikosti v rozmezí 10% až 30% číselné hodnoty jmenovité kapacity. Dalším významným parametrem je tzv. plynovací napětí. Toto je hodnota napětí na článku akumulátoru, při které se začne z elektrolytu uvolňovat vodík. Plynovací napětí nabývá hodnoty pro olovené akumulátory 2,4V/čl.. Nabíjení se provádí v závislosti na výše uvedených parametrech pomocí tří základních nabíjecích charakteristik:

- Charakteristika typu I
- Charakteristika typu U
- Charakteristika typu W

Tyto charakteristiky můžeme použít samostatně nebo v kombinaci. Pro navrhovaný nabíječ je doporučena kombinace charakteristik IUI. [3]

#### 3.1 Charakteristika typu I

V režimu této charakteristiky nabíjíme akumulátor konstantním proudem. Velikost napětí na akumulátoru po dobu nabíjení vzrůstá podle stupně jeho nabití. Doba nabíjení je závislá na velikosti proudu, teplotě elektrolytu a druhu akumulátoru.

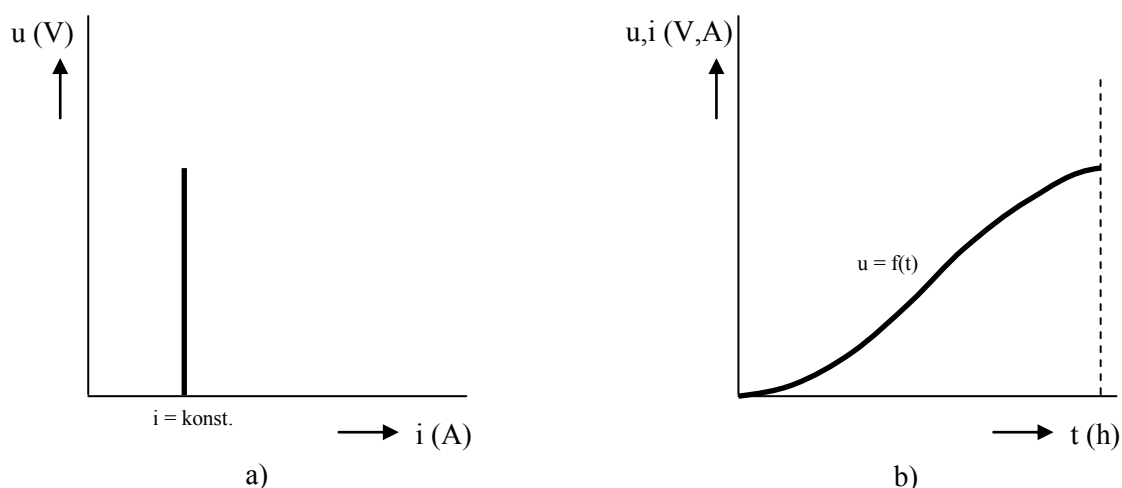
Výhody nabíjecích zařízení s touto charakteristikou jsou:

- Zkratuvzdornost
- Jednoduchý výpočet pro zjištění množství energie dodané do akumulátoru
- Během celého nabíjecího procesu, lze využít plné proudové dimenzování nabíječe

Nevýhody nabíjecích zařízení s touto charakteristikou:

- U některých typů olovených akumulátorů je nutnost nastavit dva stupně proudu
- Při přetížení akumulátoru dochází k elektrolýze a tudíž k rychlejší korozi kladných elektrod

Tato charakteristika se nejčastěji používá pro nabíjení malých olovených akumulátorů, startovacích olovených akumulátorů nebo nabíjení akumulátorů při definovaných zkouškách. [2]



**Obr.3.1** a) charakteristika nabíječe s konstantním proudem;  
b) závislost nabíjecího napětí na čase. [2]

### 3.2 Charakteristika typu U

Zvolením této charakteristiky nabíjíme akumulátor konstantním napětím. Velikost počátečního proudu je vysoká a s časem proud klesá, až poklesne na hodnotu konstantního napětí, kde se ustálí. Vysoká hodnota počátečního proudu způsobí ohřátí elektrolytu. Teplota postupně klesá s klesajícím proudem. Proud na konci nabíjení dosahuje hodnoty 1% číselné kapacity akumulátoru. U tohoto typu nabíjení musí být velký výkon nabíječe s přesnou regulací napětí, protože napětí nesmí na svorkách baterie překročit hodnotu plynovacího napětí více než o 1%. Běžná hodnota nabíjecího napětí je 2,23 V/čl.

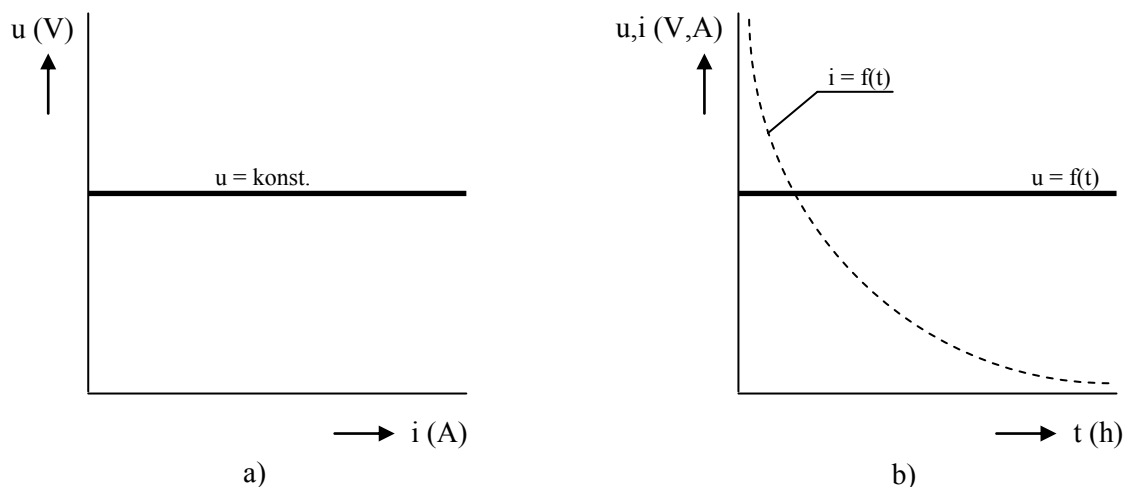
Výhody nabíjecí charakteristiky jsou:

- Rychlé obnovení elektrického náboje
- Malý proud na konci dobíjení

Nevýhody nabíjecí charakteristiky jsou:

- Velký počáteční proud
- Je zapotřebí dostatečně výkonný nabíječ

Tato charakteristika se nejčastěji používá pro nabíjení olověných akumulátoru a nikl-kadmiových akumulátorů. [2]



**Obr.3.2** a) charakteristika nabíječe s konstantním napětím;  
b) závislost nabíjecího proudu a nabíjecího napětí na čase. [2]

### 3.3 Charakteristika typu W

Typická vlastnost této charakteristiky je, že s rostoucím napětím na svorkách akumulátoru klesá přímo úměrně k svorkovému napětí nabíjecí proud. U charakteristiky W se setkáváme s nižším počátečním nabíjecím proudem než u charakteristiky U a menším konečným proudem než u charakteristiky I. Nabíjecí proud, který se používá pro tuto charakteristiku má velikost 10% až 30% číselné hodnoty jmenovité kapacity akumulátoru a konečný proud má hodnotu 5% číselné hodnoty jmenovité kapacity akumulátoru.

Výhody nabíjecí charakteristiky jsou:

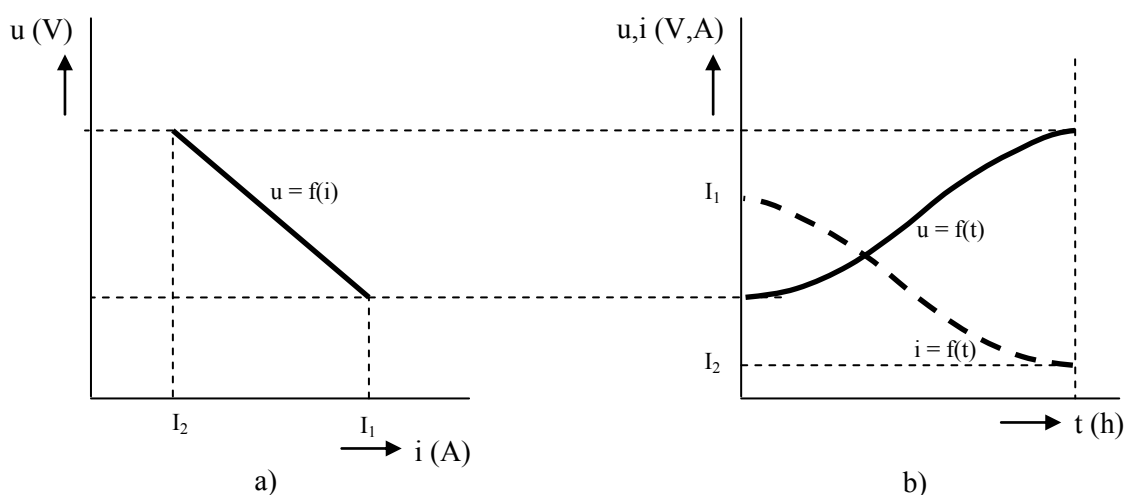
- Kombinace mezi charakteristikou U a I umožňuje lepší využití výkonu nabíječe

Nevýhody nabíjecí charakteristiky jsou:

- Velmi špatně se určuje doba nabíjení
- Velké proudové zatížení při vadném akumulátoru

Tento typ charakteristiky se nejčastěji používá pro nabíjení trakčních a malých olověných akumulátorů a také pro nabíjení nikl-kadmiových akumulátorů. [2]





**Obr.3.3** a) charakteristika nabíječe s klesajícím nabíjecím proudem;  
b) závislost nabíjecího proudu a nabíjecího napětí na čase. [2]

### 3.4 Nabíjecí charakteristika IUI

Celková doba nabíjení je strukturovaná do tří fází. V první fázi se akumulátor nabíjí konstantním proudem až do hodnoty plynovacího napětí. V druhé fázi se dobíjí při konstantním napětí při plynovacím napětí a proud protékající do baterie klesá. V třetí fázi se nabíječ přepne zpět na konstantní proud, jehož hodnota je však podstatně menší, než v první fázi. Vypínání ve třetí fázi se realizuje dvěma způsoby, buď automaticky za uplynutí nastavené doby na nabíjecí stanici, nebo dodání potřebného náboje do akumulátoru.

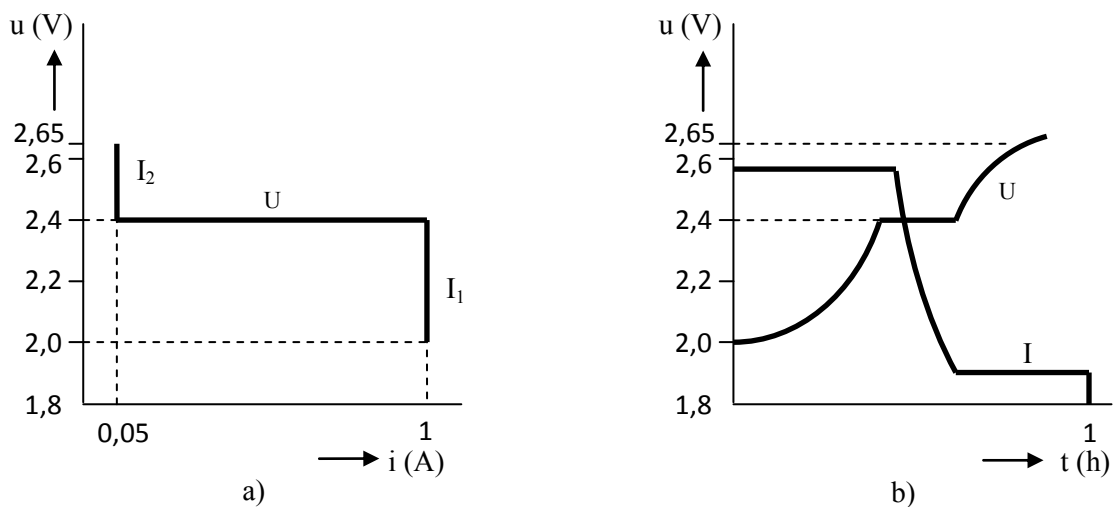
Výhody nabíjecí charakteristiky:

- Šetrnější nabíjení akumulátorů
- Rychlý způsob dobíjení trakčních akumulátorů

Nevýhody nabíjecí charakteristiky:

- Složitější řídicí systémy nabíjecí stanice

Tato charakteristika se používá pro nabíjení trakčních olověných akumulátorů. [7]



**Obr.3.4** a) příklad nabíjecí charakteristiky IUI;

b) závislost nabíjecího proudu a nabíjecího napětí na čase. [7]

### 3.5 Aplikace charakteristiky na podmínky nabíječe

Nejšetrnější a nejrychlejší způsob nabíjení velkokapacitních olověných trakčních akumulátorů je pomocí charakteristiky IUI. Tento způsob umožňuje kompenzaci plynovacího napětí, tzn. že v závislosti s teplotou se mění hladina plynovacího napětí a to vede k šetrnějšímu nabíjecímu procesu. Charakteristiky IUI dosáhneme správným řídicím algoritmem pulzního usměrňovače.

Technické požadavky:

- napájecí síť 3+PE+N AC 50Hz 400V/TN-S
- výstupní stejnosměrný proud je 75 - 80 A
- výstupní stejnosměrné napětí je 740V
- hlídat tlak a teplotu
- Chlazení IGBT tranzistorů zajistí kapalinový chladič.

Z výše uvedených parametru vložených do výpočetního programu *Nabíjení v1.1.* je předpokládána doba nabíjení 10 – 12 hodin.

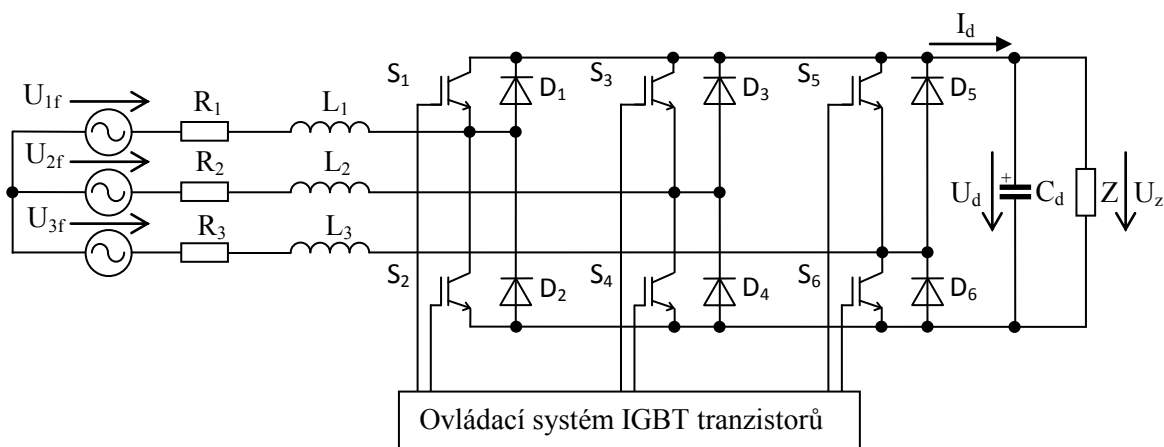
## 4. Pulzní usměrňovač pro realizaci nabíječe

Pro nabíjecí stanici byl vybrán pulzní usměrňovač s vlastní komutací. Tento typ měniče odebírá ze sítě takřka harmonický proud a účinník blízký jedné. Pulzní usměrňovače rozdělujeme do dvou základních skupin. První skupinou je proudový pulzní usměrňovač a druhou skupinu tvoří napěťový pulzní usměrňovač. Hlavní rozdíl mezi proudovým a napěťovým usměrňovačem je v zapojení obvodu, napěťový pulzní usměrňovač má ve stejnosměrném obvodu kondenzátor, který slouží pro udržení takřka konstantního napětí. Tato práce se zabývá pouze napěťovým pulzním usměrňovačem, který bude osazen v nabíječi. [7]

### 4.1 Popis funkce pulzního usměrňovače

Základní zapojení je na obrázku 4.1.. Pro správnou funkčnost pulzního usměrňovače musí dojít k synchronizaci vstupního střídavého napětí se spínání polovodičových součástek. Hlavní úlohou usměrňovače je udržet výstupní stejnosměrné napětí na hodnotě potřebné. Výstupní napětí musí být min. o 12% vyšší, než je amplituda vstupní napětí a to docílíme vhodným řídicím algoritmem s využitím vstupních tlumivek. Činnost usměrňovače spočívá ve dvou základních stupních:

- Nabíjení – nabíjení vstupních tlumivek
- Vybíjení – vybíjení vstupních tlumivek



**Obr. 4.1.** Schéma tří fázového pulzního usměrňovače s vlastní komutací

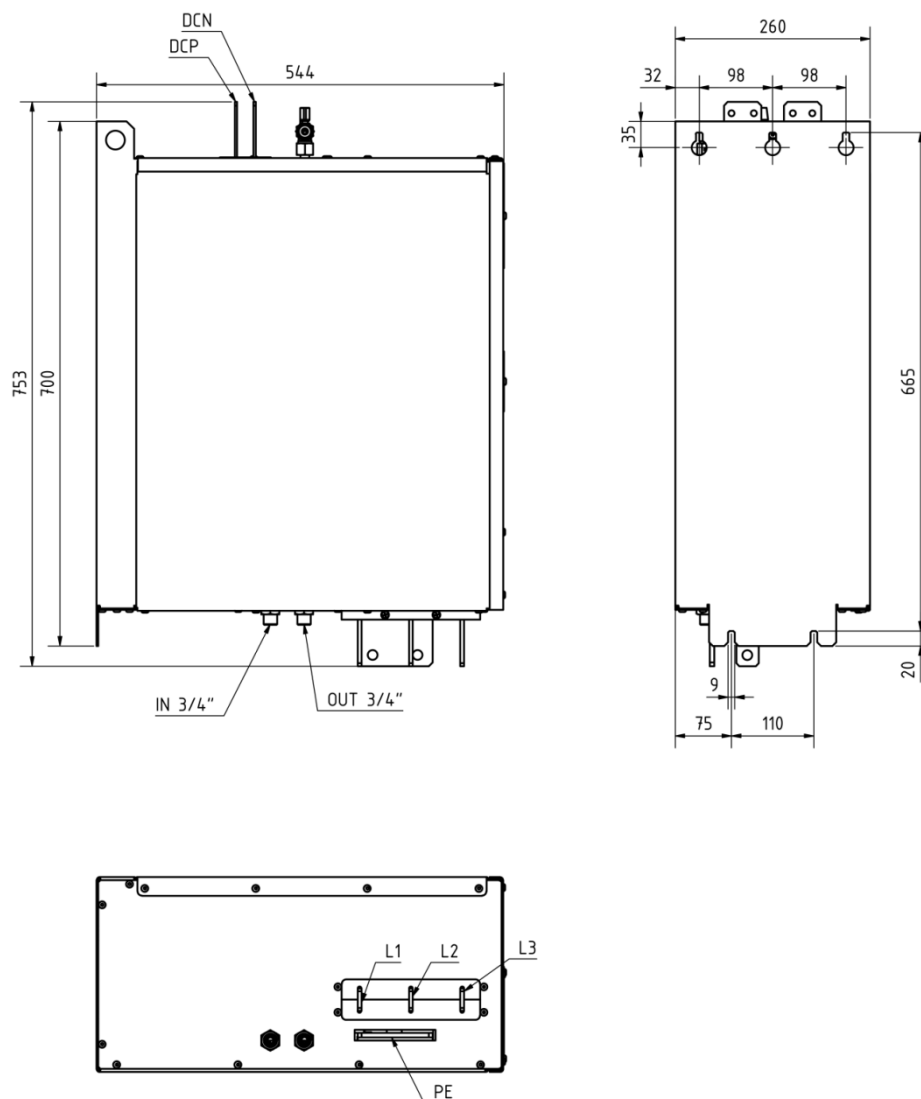
V prvním stupni (nabíjecí) řídicí systém usměrňovače zapíná spínače  $S_3$  a  $S_5$ . Proudová cesta se uzavře přes diodu  $D_1$ . V tlumivkách  $L_2$  a  $L_3$  se začíná akumulovat energie. Vypnutím spínače  $S_3$  a  $S_5$  dochází ke komutaci proudu. Zde začíná druhý stupeň (vybíjení). Naakumulovaná energie z tlumivek  $L_2$  a  $L_3$  se přes diody  $D_5$  a  $D_6$  přenesou na výstupní kondenzátor  $C_d$ . Pokud je proud  $I_d$  kladný, dochází k nabíjení kondenzátoru a k přenosu energie ze střídavé strany na stejnosměrnou. V případě, že je proud  $I_d$  záporný, kondenzátor  $C_d$  je vybíjen a energie se začne vracet zpět do zdroje. [7]

## 4.2 Technické parametry měniče

Název parametru	Hodnota parametru	Jednotka parametru
Jmenovitý výkon měniče	60	kW
Jmenovité vstupní napětí AC	3x400	V
Jmenovitý vstupní proud AC	90	A
Rozsah výstupního napětí DC	720 - 950	V
Maximální výstupní proud DC	120	A
Napájení elektronických obvodů DC	24	V
Jmenovité nabíjecí napětí DC	740	V
Jmenovitý nabíjecí proud DC	80	A
Metoda chlazení	Kapalinové chlazení s integrovaným hliníkovým chladičem	
Maximální dovolená vstupní teplota chladicí kapaliny	40	°C
Minimální průtok kapaliny chladicím systémem	12	l/min
Stupeň krytí	IP 00	

**Tab. 3.:** Parametry měniče [12]

### 4.3 Popis konstrukčního provedení

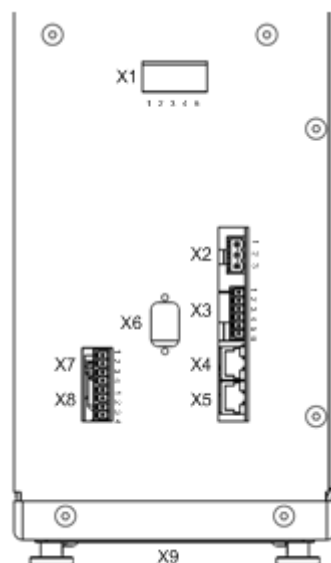


**Obr. 4.2.** Rozměry měniče [14]

Na spodní straně měniče jsou umístěny vstupní kontakty třífázové střídavé sítě označeny L1, L2, L3 se svorkou PE a také zde nalezneme vstupní a výstupní vývody pro chladicí médium o rozměrech  $\frac{3}{4}$  palce. Na horní straně se nachází výstupní stejnosměrné svorky DCP (+), DCN (-) a svorkovnice pro řídicí elektroniku měniče. [14]

### 4.4 Popis svorkovnice měniče

V této části jsou popsány svorkovnice výkonového měniče, které slouží pro napájení řídicích obvodů, měření obvodů a komunikaci s nadřazeným systémem.



**Obr. 4.3.** Rozložení svorkovnic na horní straně měniče

Svorkovnice X1 – napájecí napětí

- X1:1 – 24V DC (+)
- X1:2 – 24V DC (+) – vnitřně propojena s X1:1
- X1:3 – nezapojeno
- X1:4 – GND – spojeno s kostrou měniče
- X1:5 – GND – vnitřně propojena s X1:4

Svorkovnice X2 – reléový kontakt, který vysílá informace o systému

- X2:1 – NC
- X2:2 – COM
- X2:3 – NO

Svorkovnice X3 – Vstup a výstup synchronizace

- X3:1 – GND1
- X3:2 – SynIN\_H
- X3:3 – SynIN\_L
- X3:4 – SynOUT\_L
- X3:5 – SynOUT\_H
- X3:6 – GND

Tato svorkovnice slouží k synchronizaci více měničů. Synchronizované měniče je zapotřebí propojit do kruhu. Nadřazený systém vyhodnotí, který z měničů je hlavní a podle něj budou synchronizovány ostatní.

Svorkovnice X4, X5 – konektory RJ45:

Tato svorkovnice s otvorem pro konektor RJ45 slouží pro komunikaci mezi jednotlivými měniči a nadřazeným systémem. Pro komunikaci lze použít kabel UTP s konektory RJ45. Jednotlivé měniče jsou mezi sebou propojeny napřímo.

#### Svorkovnice X6 – profibus

V měniči je umístěn konektor cannon-9, který bude sloužit pro připojení konektoru Profibus.

#### Svorkovnice X7,X8 – analogové výstupy

X7:1 – GNDA  
X7:2 – Výstup 1  
X7:3 – GNDA  
X7:4 – Výstup 2  
X8:1 – GNDA  
X8:2 – Výstup 3  
X8:3 – GNDA  
X8:4 – Výstup 4

Napětí těchto analogových vstupů je  $\pm 10V$ , a proud o maximální hodnotě  $I_{OUT} = 5mA$ .

#### Svorkovnice X9 – měření napětí

X9:1 - L1+  
X9:2 - L1-  
X9:3 - Nezapojeno  
X9:4 - Nezapojeno  
X9:5 - L2+  
X9:6 - L2-  
X9:7 - Nezapojeno  
X9:8 - Nezapojeno  
X9:9 - L3+  
X9:10 - L4-

Tato svorkovnice slouží pro měření střídavého napětí před tlumivkami. Musí být dodržena polarita.

## 5. Dimenzování nabíječe

Nedílnou součástí každého nového elektrického zařízení je projektová dokumentace. Součástí dokumentace jsou elektrické schémata, která obsahují silový a ovládací obvody. Každé elektrické zařízení má být jištěno adekvátním jistícím prvkem a spojeno dobře dimenzovaným kabelem.

### 5.1 Pulzní usměrňovač

Než začneme dimenzovat, musíme si uvědomit, kdy nastane nejhorší stav. V našem případě se jedná o stav, kdy baterie dosáhne plynovacího napětí  $U_{\text{plyn}} = 672 \text{ V}$  a nabíjecí proud  $I_{\text{nab}} = 80 \text{ A}$ . Z těchto hodnot vypočítáme největší potřebný výkon měniče při nabíjení

$$P = U_{\text{plyn}} \cdot I_{\text{nab}} = 672 \cdot 80 = 53,760 \text{ kW} \quad (5.1)$$

#### 5.1.1 Volba jištění usměrňovače ze stejnosměrné strany

Z maximálního nabíjecího proudu  $I_{\text{nab}} = 80 \text{ A}$ , určíme stejnosměrný jistící prvek. Pro jištění stejnosměrné strany, byla vybrána pojistka typu P50V16 100A aR od společnosti OEZ.

#### 5.1.2 Výpočet úbytku napětí ze stejnosměrné strany

U stejnosměrného proudu musíme uvažovat, že proud tekoucí do baterie a z ní, vykoná dvakrát delší trasu než střídavý. Proto v rovnici pro výpočet úbytku uvažujeme dvojnásobek délky připojovacího kabelu.

$$u_{\Delta} = \frac{\rho \cdot 2 \cdot l \cdot P}{s \cdot U} = \frac{\frac{1}{55} \cdot 2 \cdot 10 \cdot 53790}{35 \cdot 740} = 0,76 \text{ V} \quad (5.2)$$

Z rovnice (5.2) je patrné, že úbytek napětí na 10m kabelu vyhovuje zvolenému průřezu  $35 \text{ mm}^2$ . Proto byl zvolen kabel ÖLFLEX SERVO FD 795 CP 4G35 od společnosti LAPPGROUP.

#### 5.1.3 Volba jištění usměrňovače ze střídavé strany

Z tabulkových hodnot měniče si vypočítám proud, který bude protékat vedením na střídavé straně.

$$I_{\text{stř}} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{53760}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,98} = 80 \text{ A} \quad (5.3)$$



Výpočet proudu vyšel  $I_{stř} = 80 \text{ A}$ . Volím nejbližší vyšší jističí prvek pojistku PV522 100A gR od společnosti OEZ. Dle proudu byly také zvoleny vstupní tlumivky typu 3TM100 od společnosti ELFIS.

#### 5.1.4 Výpočet úbytku napětí ze střídavé strany

$$u_{\Delta} = \frac{\rho \cdot l \cdot P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot s \cdot \cos \varphi} = \frac{\frac{1}{55} \cdot 5 \cdot 53760}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 25 \cdot 0,98} = 0,21 \text{ V} \quad (5.4)$$

Z rovnice (5.4) je patrné, že úbytek napětí na 5m kabelu vyhovuje zvolenému průřezu 35 mm<sup>2</sup>. Proto byl zvolen kabel ÖLFLEX SERVO FD 795 CP 4G35 od společnosti LAPPGROUP.

### 5.2 Ventilátory, čerpadlo, dmýchadla, klimatizace

#### 5.2.1 Ventilátory

Pro chlazení výměníku jsou použity dva ventilátory, od společnosti Rittal o výkonu 30W. Výrobce stanoví proud  $I_{ven} = 0,20 \text{ A}$ . Na základě této hodnoty volím motorovou pojistku PV10 0,25A aM a jistič LPN-0,4B-1. Toto jištění je použito pro oba ventilátory.

#### 5.2.2 Čerpadlo

Odvod teplé vody z vodního chladiče do výměníku slouží čerpadlo od společnosti GRUNDFOS o celkovém výkonu 60W. Jmenovité napětí je 230V.

$$I_{N\check{c}er} = \frac{P}{U_N \cdot \cos \varphi} = \frac{60}{230 \cdot 0,98} = 0,27 \text{ A} \quad (5.5)$$

Z výše vypočteného proudu byla zvolena motorová pojistka PV10 0,5A aM a jistič LPN-0,6B-1.

#### 5.2.3 Dmýchadla

Součástí nabíjecí stanice je napájení dmýchadel elektrolytu, které jsou umístěny v lokomotivě. Výkon jednoho dmýchadla je 500W. V lokomotivě jsou celkově 4 dmýchadla připojena paralelně mezi sebou. Jmenovité napětí je 230 V.

$$I_{Ndm} = \frac{4 \cdot P}{U_N \cdot \cos \varphi} = \frac{4 \cdot 500}{230 \cdot 0,98} = 8,9A$$

(5.6)

Z výše vypočteného proudu byla zvolena motorová pojistka PV10 10A aM a jistič LPN-10B-1

#### 5.2.4 Klimatizační jednotka

Výrobce je stanovena ochrana klimatizační jednotky pojistkou od společnosti SICHERUNGEN 10A T.

### 5.3 Elektrický rozvaděč

Nabíjecí stanice bude zapouzdřena do elektrického rozvaděče od společnosti OEZ. Rozvaděče bude minimálně IP 54. Přední stranu tvoří dvoukřídlé dveře, ve kterých jsou vyřezány dva otvory. Do levých dveří se umístí ovládací prvky a signálky a v pravých dveřích se umístí klimatizační jednotka. Dva otvory se vyřežou na zadní straně pro ventilátory, které budou foukat studený vzduch na výměník vody. Kulatá díra se vyřeže z předního pohledu na levé straně. Z vnitřní strany zadní stěny se umístí hole vodící lišty. Elektrická zařízení se umístí na montážní lišty. Z otvoru bude vyveden nabíjecí kabel. Výrobce rozvaděč natře speciální barvou proti UV záření.



**Obr. 5.1.** Pohled do rozváděcí skříně [13]

## 5.4 Elektrická přípojka

Přípojka bude provedena z vnitřní průmyslové sítě společnosti Accelor Mittal. Do rozváděčové skříně bude přípojka vstupovat ze spodní strany. Celé vedení povede v zemi v hloubce 600 mm a je nutné ho ochránit chráničkou KOPOFLEX D50. V případě, že připojovací kabel povede pod železniční tratí, nebo pod silnicí je nutné udělat protlak v hloubce 1200 mm a chránit jej chráničkou KOPOFLEX D150. Výpočet průřezu kabelů je v závislosti na úbytku napětí na vedení a délce vedení. Dovolенý úbytek napětí je 5%. Materiál použitý pro kabelovou přípojku je měď.

### 5.2.1 Výpočet dovoleného úbytku napětí na vedení

$$u_{Dov} = \frac{U_z}{\sqrt{3}} \cdot 0,05 = \frac{400}{\sqrt{3}} \cdot 0,05 = 11,55 \text{ V} \quad (5.7)$$

### 5.2.2 Výpočet úbytku napětí na vedení přípojky

Vedení je dimenzováno na výkon 60 kW a na vzdálenost připojovacího bodu k průmyslové síti 30m.

$$u_{\Delta} = \frac{\rho \cdot l \cdot P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot s \cdot \cos \varphi} = \frac{\frac{1}{55} \cdot 30 \cdot 60000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 35 \cdot 0,98} = 1,38 \text{ V} \quad (5.8)$$

## 6. Závěr

Cílem závěrečné bakalářské práce bylo vytvoření projektové dokumentace nabíjecí stanice pro lokomotivu č. 710.201-5, na jejímž základě lze tento přístroj i sestrojít.

Bakalářská práce obsahuje teoretickou a praktickou část. V teoretické části se zabývá základním popisem akumulátorové lokomotivy, pro kterou měla být nabíječka sestavena, nabíjecími charakteristikami a samotným pulzním usměrňovačem, který je základním zařízením celé nabíjecí stanice. Projektová dokumentace zahrnuje silová a ovládací elektrická schémata, technickou zprávu, kalkulaci a návod k obsluze.

Vytvořením této práce jsem získal spoustu nových dovedností zejména z oboru pulzních usměrňovačů a střídačů. Rozšířil jsem své znalosti v oboru výkonové elektroniky a udělal další důležitý krok při zvýšení své kvalifikace v oblasti projektování elektrických zařízení s polovodičovými měniči pro zabezpečení provozu moderních typů lokomotiv.

## 7. Použitá literatura

### 7.1 Literatura

- [1] Vondrášek, František. *Výkonová elektronika – svazek 3*. Západočeská univerzita v Plzni, 1998, 252s. ISBN 80-7082-485-9
- [2] Andreáš, M., Ručka, M. *Nabíječky a nabíjení*. INGARA a BEN, Praha 2005, 112s. ISBN 80-86056-61-9
- [3] Cenek, Miroslav a kol. *Akumulátory od principu k praxi*. FCC PUBLIC, 2003, 248s. ISBN 80-86534-03-0
- [4] Veselovská, J., Kroupa, M. *Základy tvorby technickej dokumentácie v elektrotechnike*. Alfa, Bratislava 1990, 608s. ISBN 80-05-00099-5
- [5] Javůrek, Jiří. *Regulace moderních elektrických pohonů*. Grada Publishing, a.s., Praha 2003, 264s. ISBN 80-247-0507-9
- [6] Chlebiš, Petr. *Výkonové polovodičové systémy*. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Ostrava 2005, 76s.
- [7] Martiniak, Ľubomír. *Pulzní usměrňovač pro nabíjení akumulátorů*. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Ostrava 2011, 49s.
- [8] Marconi. *Skoro vše o akumulátorech a nabíjení*. 2008, 61s.
- [9] Francírek, František. *Bakalářská práce. Co, jak a proč připravit, zpracovat, napsat a zhodnotit (obhájit)*. Ingenio et Arti s.r.o., Praha 2012, 114s. ISBN 978-80-905287-1-0.
- [10] <http://elektronika-me-hobby.8u.cz/dimenzovani-prurezu-elektrickeho-vodice-a-urceni-typu-elektrickeho-kabelu.php>
- [11] <http://homen.vsb.cz/~mlc37/TVB%28FEI%29/Prednasky/1rozvody.pdf>

### 7.2 Datové listy

- [12] Arrow line, a.s.. *HLAVNÍ TECHNICKÉ ÚDAJE, Akumulátorová lokomotiva 710.201-5 (CS 110A)*. Ostrava, 9s.
- [13] OEZ s.r.o.. *Konfigurator OEZ 2.02*, software, Letohrad
- [14] Tvrdoň, Martin. *Výkonová a řídicí elektronika. Popis výkonového měniče pro akumulární systém*. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Ostrava 2012, 11s.

### 7.3 Normy

- [15] ČSN 33 2000-4-41 ed.2 Změna Z1. *Elektroinstalace nízkého napětí – Část 4-41: Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti – Ochrana před úrazem elektrickým proudem*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010. Třídící znak 85519
- [16] ČSN 33 2000-5-51 ed.3. *Elektroinstalace nízkého napětí – Část 5-51: Výběr a stavba elektrických zařízení – Všeobecné předpisy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010. Třídící znak 85482

- [17] ČSN 33 2000-5-54 ed.3. *Elektroinstalace nízkého napětí – Část 5-54: Výběr a stavba elektrických zařízení – Uzemnění a ochranné vodiče*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010. Třídící znak 90331

## **8. Seznam příloh**

### **8.1 Tištěné přílohy**

**Příloha A – Protokol o vnějších vlivech**

**Příloha B – Technická zpráva**

**Příloha C – Návod k obsluze**

**Příloha D – Kalkulace**

**Příloha E – Elektrotechnická schémata**

**Příloha F – Dispozice nabíjecí stanice**

**Příloha G – Rozvaděč**

**Příloha H – Blokové rozložení součástí v rozvaděči**

### **8.2 Netištěné přílohy umístěné na CD**

**Datová příloha – Datové listy, návody a podklady**